

# TRASUTRA. MEZCLAS ULTRADELGADAS FABRICADAS CON ADITIVOS

### **JAVIER LOMA**

PADECASA  
javierloma@padecasa.com

### **ÁNGEL SAMPEDRO**

UAX  
sampedro@uax.es

### **RAÚL TERÁN**

KAO CHEMICALS  
rteran@kao.com

### **LLUIS LOZANO**

KAO CHEMICALS  
llozano@kao.es

---

# TRASUTRA. MEZCLAS ULTRADELGADAS FABRICADAS CON ADITIVOS

---

## RESUMEN

Las mezclas ultra-delgadas, denominadas mezclas AUTL (Asphalt for Ultra Thin Layer), extendidas en pequeños espesores entre 1 y 2 centímetros, son una excelente solución para la renovación de las características superficiales en pavimentos.

Estas mezclas aparecen normalizadas en Europa con la Norma UNE-EN 13108-9, donde se indican los requisitos que deben cumplir para su aplicación y comercialización. Es una norma abierta que permite combinar diferentes requisitos y seleccionar categorías para diferentes propiedades.

Estas mezclas deben fabricarse con materiales de buena calidad, con buena trabajabilidad y cohesión superficial, y se debe asegurar la correcta aplicación del riego de adherencia al soporte para garantizar su adherencia, aspecto crítico con espesores tan reducidos. En esta comunicación se indican los criterios seguidos para realizar la formulación de una tecnología de mezclas ultradelgadas, denominada *TRASUTRA* (Tratamientos superficiales de rápida apertura al tráfico) con elevadas prestaciones y facilidad de colocación en obra.

Para realizar esta aplicación se han utilizado ligantes convencionales con la aportación de 3 aditivos diferentes (ceramida+rejuvenecedor+tensoactivo), que permiten modificar la viscosidad del ligante y

reducir la temperatura de fabricación y puesta en obra de la mezcla.

Desde los laboratorios del Clúster formado por la Cátedra PADECASA-UAX y la empresa KAO se está investigando en el desarrollo del sistema pavimentación de mezclas AUTL denominado *TRASUTRA* (Tratamientos superficiales de rápida apertura al tráfico), fabricado con ligantes convencionales y aditivos especiales para la obtención de mezclas bituminosas en capas delgadas (1-2 cm) con propiedades mejoradas como consecuencia de la combinación de aditivos especiales con formulaciones y materiales específicos. En este proyecto también se está trabajando, en paralelo, con el laboratorio ROADLAB SACYR-UAX, con el objeto de confrontar los resultados obtenidos con otros ensayos prestacionales que permitan validar todos los avances logrados.

En este texto se presentan los resultados obtenidos en el diseño en laboratorio de este tipo de mezclas, compuestas por áridos de alta calidad y ligantes convencionales aditivados con productos especiales para conseguir que el funcionamiento del conjunto de la mezcla tenga un comportamiento óptimo. En la comunicación se indica la estructura granulométrica con granulometría discontinua para 2 tamaños máximo de árido diferente, de 8 y 6 milímetros, comparada frente a los resultados obtenidos en una mezcla con ligante modificado y con un ligante convencional.

La norma europea UNE EN 13108-9 regula los requisitos y la metodología de ensayo aplicable a las mezclas tipo AUTL, estableciendo en cada caso las categorías permitidas. En España todavía no se dispone de especificaciones para estos productos, lo cual obliga a considerar los criterios recogidos en dicha normativa europea. En la actualidad ya se han realizado numerosas aplicaciones en pavimentos con diferentes tecnologías desarrolladas por las empresas del sector. Se entiende por mezclas ultra-delgadas AUTL, según la definición de la UNE-EN 13108-9 (3.1.10): como el asfalto (mezcla bituminosa o asfáltica) para capas de rodadura con un espesor entre 10 y 20 milímetros, en el que las partículas de árido tienen generalmente una granulometría abierta discontinua para formar una estructura de contacto y una textura superficial abierta.

Este tipo de mezclas bituminosas se pueden situar entre las mezclas tipo BBTM de la UNE EN 13108-2 y los microaglomerados en frío, permitiendo optimizar los recursos de materiales y tiempos de ejecución, así como economizar las actuaciones, obteniendo pavimentos con características superficiales renovadas.

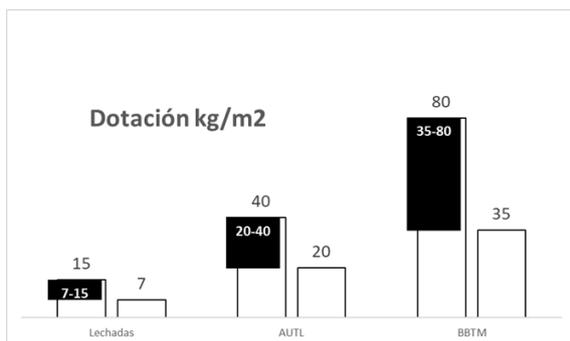


Ilustración 1: Dotación comparada de las mezclas AUTL.

Se han analizado aplicaciones realizadas previamente a este estudio en Estados Unidos, México, Colombia, e Italia, que han permitido optimizar el diseño y diversificar la funcionalidad de un pavimento como el

TRASUTRA, ya sea como un tratamiento de espera para renovación de la superficie de pavimentos dañados, o como tratamiento preventivo sobre superficies de rodadura recién colocadas. Según los casos estudiados, este tipo de soluciones de pavimentación ha demostrado ser una tecnología viable y sostenible para la conservación de carreteras y vías urbanas.

## 2. MATERIALES

Los áridos son de elevada dureza, con un valor de desgaste de Los Ángeles (LA) bajo, facilitando la resistencia de las partículas gruesas que trabajan por rozamiento interno, así como un elevado coeficiente de pulimento acelerado (CPA) para asegurar la obtención de valores de rozamiento adecuados para su puesta en servicio.



Foto 1: Áridos seleccionados.

Son áridos limpios y con buen coeficiente de forma, y se han utilizado dos fracciones con tamaño máximo de áridos entre 6 y 8 milímetros, para disponer de varias opciones en función del espesor final deseado. Las fracciones tienen un corte en la granulometría en los tamaños de 2 a 4 milímetros, facilitando la discontinuidad y obtención de los valores de macrotextura deseados. Este árido se fabrica en las instalaciones de la empresa CYCASA en la provincia de Ávila.



Foto 2: Cantera de CYCASA.

Como polvo mineral de aportación o filler de la mezcla se ha utilizado carbonato cálcico fabricado a nivel industrial en instalaciones de Arganda del Rey en Madrid.

El ligante o betún utilizado para este nuevo tratamiento superficial ultradelgado es un betún convencional (35/50 o 50/70), con los aditivos especiales propuestos en este estudio. Estos aditivos reducen la viscosidad del betún a temperaturas entre 110 y 160°C y a la vez aumentan el punto su reblandecimiento hasta un mínimo de 80°C.

Si bien la norma UNE EN 12591:2000 recoge las especificaciones de los betunes para la pavimentación, esta los clasifica en base a su penetración. Por tanto, es necesario complementarla información reológica y las especificaciones relacionadas con las características vinculadas a la tecnología TRASUTRA.

Para ello, la selección y dosis de los aditivos deberá ser aquella que permita que el ligante final cumpla con los requisitos de control de calidad mostrados en la tabla 1.

Tabla 1.- Requisitos de control de calidad del ligante modificado para este nuevo tratamiento ultradelgado.

Prueba	Método de Prueba			Especificación
	UNE-EN 12591	AASHTO	ASTM	
Viscosidad rotacional a 135°C		T - 316	D 4402	Máximo 0,350 Pa s
Viscosidad cinemática a 135°C	EN 12595			Máximo 295 mm <sup>2</sup> /s
G*/senða 82°C	-	T - 315	D 7175	Mínimo 1,0 kPa
Punto de Reblandecimiento	EN 1427	T - 53	D 36	Mínimo 80°C
Ángulo de Fase a 82°C	-	T - 315	D 7175	Máximo 75°
Penetración a 25°C	EN 1426	T - M-20-70	D 946	Mínimo 40dmm 50 a 70 dmm

El ligante propuesto en este estudio está modificado mediante la combinación de 3 aditivos, denominados "A", "B" y "C". En la tabla 2 se muestran sus características y funciones de los aditivos utilizados en este estudio.

Tabla 2.- Aditivos utilizados en este estudio.

	Descripción	Función
<b>Aditivo A</b>	Aditivo ceramida	Disminuir viscosidad ligante a > 100°C Evitar deformaciones de la mezcla a 40-90°C
<b>Aditivo B</b>	Aditivo rejuvenecedor	Disminuir viscosidad ligante a > 100°C Evitar agrietamiento de la mezcla T<5°C
<b>Aditivo C</b>	Aditivo tensoactivo	Permitir compactar hasta 95°C Cohesionar la mezcla

La acción conjunta y sinérgica de los aditivos A, B y C modifica sustancialmente la reología del ligante original de manera que la mezcla asfáltica resultante permite:

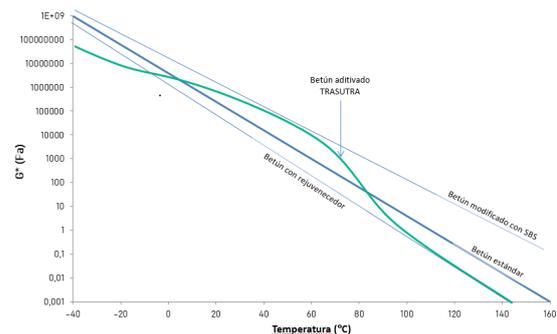
- Realizar el extendido hasta temperaturas mínimas de 120°C
- Compactar la mezcla extendida hasta temperaturas mínimas de 95°C

- Obtener espesores de tan solo 1-2 cm con maquinaria convencional y con el árido adecuado
- Mejorar las propiedades mecánicas del betún en condiciones de tráfico a alta temperatura
- Mejorar las propiedades mecánicas del betún en condiciones de tráfico a baja temperatura

Los aditivos le confieren al betún la viscosidad correcta a las temperaturas entre 100°C y 160°C que permitan a la mezcla bituminosa ser compactada y manipulada por el aplicador a temperaturas entre 100°C y 120°C. Una capa con un espesor tan fino (inferiores a 2 cm antes de ser compactada) se enfría rápidamente. Si no se utilizaran los aditivos sobre el ligante, la mezcla se enfriaría muy rápidamente, dificultando su manejo y compactación. En su defecto, para lograr lo anterior, la mezcla tendría que calentarse a muy elevadas temperaturas, implicando un mayor gasto energético y con elevado riesgo de escurrimientos de ligante y degradación del betún y el árido, además de otros riesgos para la durabilidad de la mezcla ya conocidos. El límite operativo de temperatura superior para el betún se puede ilustrar midiendo el módulo de corte complejo y el ángulo de fase a temperaturas crecientes a lo largo del rango de 46 a 100°C. Las normas basadas en esta metodología establecen un valor crítico de  $G^*/\sin(\delta)$  de 1.000 Pa, asumiendo que los cocientes más bajos corresponden a un betún tan blando que proporciona poca capacidad portante a la mezcla bituminosa. Un valor por debajo de los 1.000 Pa tendría un impacto negativo, volviendo el betún demasiado blando. Se puede esperar que este ablandamiento excesivo se haga más evidente en condiciones de clima cálido. Por tanto, el objetivo es obtener valores de  $G^*/\sin(\delta)$  iguales o superiores a los del betún en blanco.

El módulo del betún aumenta y el ángulo de fase disminuye a medida que disminuye la temperatura. En otras palabras, el betún se vuelve quebradizo a bajas temperaturas. Este efecto hace que el pavimento sea más propenso a agrietarse bajo las cargas del tráfico a bajas temperaturas. El uso del conjunto de estos aditivos también evita la fragilidad a bajas temperaturas, mejorando la plasticidad del betún.

A continuación, se muestra una gráfica comparativa módulo/ temperatura de un betún estándar, betún modificado con polímero, betún con rejuvenecedor y el betún aditivado TRASUTRA con los aditivos propuestos en es este estudio.



### 3. NORMA EUROPEA UNE EN 13108-9

Como se ha indicado anteriormente, es el documento de referencia para este tipo de mezclas bituminosas. En la norma se indica que una parte esencial para el correcto comportamiento de la mezcla es la adherencia, por lo que se debe prestar especial atención en este factor considerando sus condiciones de diseño, fabricación y aplicación.

Los ligantes permitidos son los recogidos en las normas 12591 de betunes de pavimentación, UNE EN 14023 de betunes modificados, UNE EN 13924-2 de betunes multigrado, y la mezcla de alguno de ellos con asfalto natural. La norma permite la utilización de

asfalto recuperado (RA) y, para los aditivos, se indica que se pueden utilizar en pequeñas cantidades "...para modificar propiedades específicas de la mezcla".

Los husos granulométricos se establecen en función del tamaño máximo del árido y la serie utilizada: serie básica más la serie 1 con los tamices 4 o 5,6, 8 y 11,2 milímetros, o la serie básica más la serie 2 con los tamices 4 o 6, 3, 8 y 10 milímetros.

El porcentaje de ligante mínimo debe ser declarado y redondeado en 0,1 % entre los valores del 5 y 7% sobre el peso de la mezcla. Las categorías que se pueden seleccionar para el contenido de huecos varían entre el 1,5 y el 12,0 % con el porcentaje mínimo de betún, y del 3 al 20 % con el contenido máximo, pudiendo declararse también NR (ningún requisito). De igual forma, los valores mínimos del ensayo de sensibilidad, tanto para la ITSR como i/C, deben seleccionarse por encima del 75% en una escala de 5 puntos.

La norma permite seleccionar categorías para otras propiedades como, por ejemplo, la temperatura de fallo a baja temperatura UNE EN 12697-46 (TSRST), resistencia a combustibles UNE EN 12697-43 (Ci), o el rozamiento tras pulido UNE EN 12697-49 (FAP).

La compactación de las probetas y la posibilidad de emplear diferentes equipos y energía, está recogida en la norma UNE EN 13108-20 de ensayo de tipo inicial (ITT).

#### 4. DISEÑO DE LAS MEZCLAS

Para el diseño de las mezclas en laboratorio se han tenido en cuenta los materiales utilizados, el tipo de mezcla y características buscadas, y los criterios de la normativa europea. Se ha realizado un primer estudio de las características de las mezclas fabricadas con ligantes convencionales, con ligantes

modificados, y un estudio con el ligante aditivado del sistema TRASUTRA (en adelante ligante TRASUTRA), con el objetivo de poder comparar las prestaciones obtenidas por los 3 tipos de mezclas bituminosas fabricadas con diferentes ligantes y así valorar sus prestaciones finales.

Se ha procedido de la siguiente forma:

- i. Selección y preparación de los materiales.

Se ha realizado el diseño de 2 para los dos tipos de mezclas y para 2 tamaños máximos de árido distintos, que son:

- Para la formulación de la mezcla AUTL6 se ha empleado un gravín tipo 3-6 milímetros de corneana de Cycasa.
- Para la mezcla AUTL 8 se ha utilizado el gravín 4-8 milímetros de corneana fabricado en la cantera de Cycasa.



El polvo mineral es un filler calizo industrial de contrastada calidad que permite asegurar una buena adhesividad árido-ligante en la mezcla.

El ligante ha sido modificado con aditivos para modificar características en la mezcla bituminosa. A continuación se muestra la curva reológica del betún propuesto.

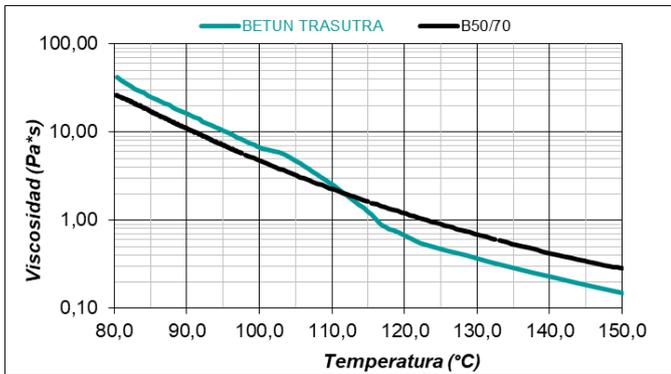


Ilustración 2: Curva reológica del ligante TRASUTRA.

Este betún cumple con las especificaciones establecidos la siguiente tabla.

Tabla 3: Características del ligante TRASUTRA.

Prueba	Especificación	Resultados
Viscosidad rotacional a 135°C	Máximo 0,350 Pa s	291 Pa
G*/sen δ a 82°C	Mínimo 1,0 kPa	1,770 kPa
Punto de Reblandecimiento	Mínimo 80°C	83°C
Ángulo de Fase a 82°C	Máximo 75°	68,8
Penetración a 25°C	Mínimo 40 dmm	48

- ii. Dosificación de áridos para las mezclas tipo AUTL6 y AUTL8.

La dosificación en frío de los materiales es la siguiente:

Material	AUTL5,6-TRASUTRA	AUTL8-TRASUTRA
Gravín 4-8 mm.		68
Gravín 3-6 mm.	70	
Arena 0-2 mm.	28	30
Filler aportación caliza	2	2

Gráfico de la curva compuesta de los áridos:

Tamices UNE	AUTL5,6-TRASUTRA	AUTL8-TRASUTRA
11,2		100
8	100	93
5,6	98	47
4	64	34
2	29	26
0,5	14	14
0,063	6,0	6,5

Gráfico de la curva compuesta de áridos de la mezcla AUTL5,6-TRASUTRA:

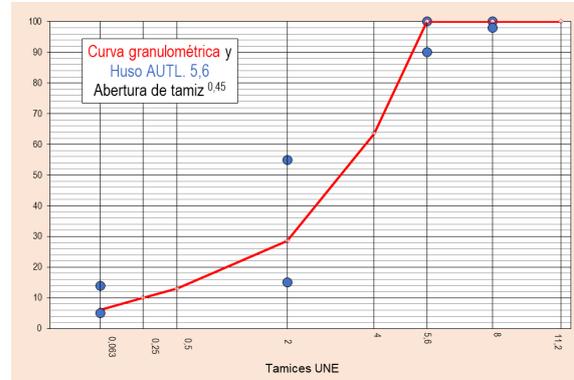
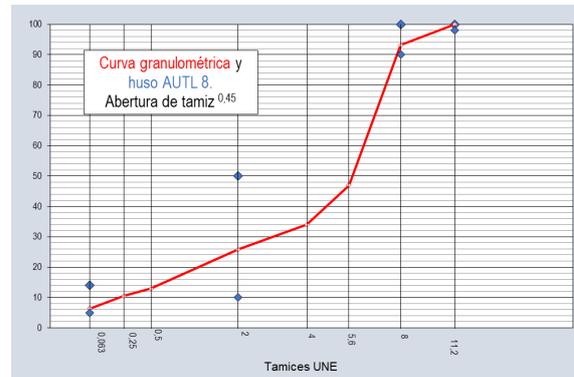


Gráfico de la curva compuesta de áridos de la mezcla AUTL8-TRASUTRA:



- iii. Ensayos de las mezclas bituminosas:

La caracterización de la mezcla se ha realizado con los siguientes ensayos:

NORMA	DENOMINACIÓN DEL ENSAYO
UNE-EN 12697-8	Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas.
UNE-EN 12697-5.	Determinación de la densidad máxima.
UNE-EN 12697-17	Pérdida de partículas de una probeta de mezcla bituminosa drenante. (ensayo cántabro)
UNE-EN 12697-26.	Rigidez. Tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY)
UNE-EN 12697-30.	Compactación de probetas con el equipo de impacto
UNE-EN 12697-31.	Compactación de probetas con el equipo giratorio
NLT-159/00	Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.
NLT 383-20	Evaluación de la resistencia, tenacidad y energía de rotura de las mezclas bituminosas mediante el ensayo Fénix

Mezclas ensayadas:

- o **La MEZCLA 1** se ha fabricado con un ligante convencional tipo 50/70. Temperatura de compactación de las probetas: 155 °C.
- o **La MEZCLA 2** se ha fabricado con un ligante modificado del tipo PMB45/80-65, Temperatura de compactación de las probetas: 170 °C
- o **La MEZCLA 3**, denominada mezcla TRASUTRA, se ha fabricado con el ligante TRASUTRA (un ligante convencional tipo B50/70 modificado con aditivos especiales). Temperatura de compactación de las probetas: 125 °C

*NOTA: Para la fabricación de la mezcla se incrementa en 10 °C la temperatura de compactación.*

Se han fabricado varias series de probetas utilizando dos porcentajes de ligante diferentes con el objetivo de optimizar su diseño: 5,5 % sobre el peso de los áridos y 6 % sobre el peso de los áridos.

Todas las mezclas se fabrican en el laboratorio y se introducen posteriormente en la estufa durante 20 minutos para asegurar la homogeneidad térmica en toda la masa.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

### Densidad Máxima

UNE EN 12697-5. Determinación de la masa por unidad de volumen, sin huecos de aire, de una mezcla bituminosa a temperatura conocida. El resultado obtenido, para la mezcla fabricada con el 5,5 % de ligante sobre el peso de los áridos, es el siguiente:

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
Referencia	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Densidad máxima, Kg/m <sup>3</sup>	2516	2520	2515	2512	2518	2515
Promedio, Kg/m <sup>3</sup>	2517			2515		

### Densidad Aparente y Huecos

UNE EN 12697-6 La determinación de la densidad se efectúa siguiendo el procedimiento de medida por superficie seca saturada de las probetas. Los huecos se determinan según la norma UNE EN 12697-8. La compactación se ha realizado con el equipo de impacto (UNE EN 12697-30), aplicando una energía de 25 golpes por cada cara, para probetas con una altura final de 35-45 mm. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% Ligante en áridos	5,5 %					
Referencia	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Temperatura °C	155	170	125	155	170	125
Densidad, kg/m <sup>3</sup>	2186	2191	2152	2324	2276	2289
Huecos en mezcla, %	13,1	13,4	14,4	7,5	9,6	9,0
Huecos en áridos, %	24,3	24,6	25,5	19,4	21,3	20,7
Huecos rellenos, %	46,2	45,5	43,4	61,5	55,0	56,7

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% Ligante en áridos	6 %					
Referencia	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Temperatura °C	155	170	125	155	170	125
Densidad, kg/m <sup>3</sup>	2182	2202	2166	2332	2305	2295
Huecos en mezcla, %	13,3	12,6	13,9	7,2	8,5	8,8
Huecos en áridos, %	25,3	24,8	25,8	20,0	21,1	21,4
Huecos rellenos, %	47,5	49,0	46,2	64,2	60,0	59,0

### Sensibilidad al agua

UNE EN 12697-12. Se realiza el ensayo con probetas cilíndricas fabricadas con el equipo de impacto con 25 golpes por cada cara de la probeta. La densidad se determina mediante el procedimiento ssd. Una de las series se introduce en un baño de agua a 40 °C durante 72 horas y la otra se mantiene a temperatura ambiente. En ambos casos, la rotura a tracción indirecta se efectúa a una temperatura de 15 °C.



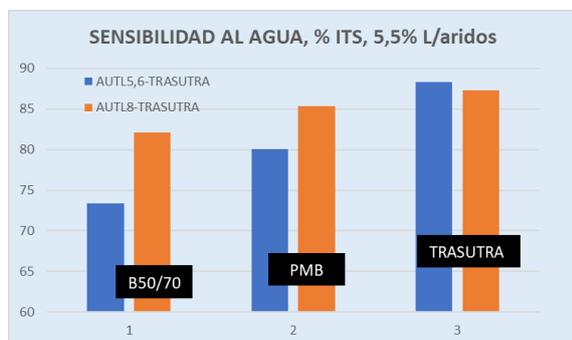
Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% ligante en áridos	5,5 %					
Referencia	M1	M2	M3	M1	M2	M3
% Huecos	14,6	13,9	15,7	8,2	8,3	9,0
Resistencia en aire, ITS. MPa	0,858	1,156	0,613	1,097	1,505	0,859
Resistencia en agua, ITS. MPa	0,630	0,926	0,541	0,900	1,285	0,750
Resistencia en aire, ITSR, %	73,4	80,1	88,3	82,1	85,37	87,3

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% ligante en áridos	6 %					
Referencia	M1	M2	M3	M1	M2	M3
% Huecos	13,2	13,9	13,9	8,2	8,6	9,5
Resistencia en aire, ITS. MPa	0,812	1,276	0,709	1,167	1,539	0,681
Resistencia en agua, ITS. MPa	0,622	1,053	0,654	0,962	1,388	0,625
Resistencia en aire, ITSR, %	76,6	82,5	92,2	82,4	90,2	91,8

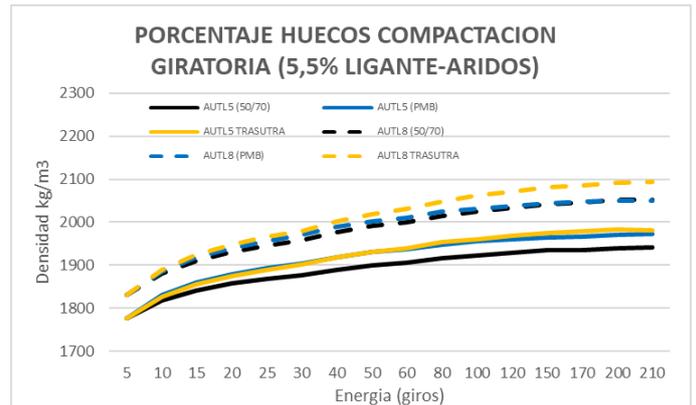
### Compactación con giratoria.

Se ha realizado el ensayo de compactación con el equipo de giratoria UNE EN 12697-31, para una energía de 210 giros. Cada tipo de mezcla se ha compactado a una temperatura diferente determinando la altura y por tanto el contenido de los huecos durante todo el proceso de compactación, obteniendo con ello información relevante de la trabajabilidad de la mezcla.

Este ensayo no es muy empleado en Europa, pero sí lo es en países de América, siendo determinante en la obtención de la fórmula de trabajo. En las siguientes tablas se indica la densidad geométrica de las probetas obtenidas en el equipo.



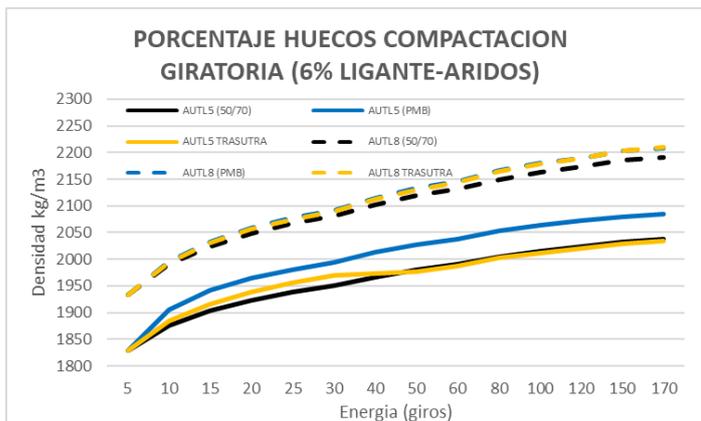
Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% Ligante en áridos	5,5 %					
Energía	M1	M2	M3	M1	M2	M3
5	1776	1776	1776	1831	1831	1831
10	1819	1830	1826	1880	1885	1890
15	1842	1860	1855	1909	1918	1924
20	1858	1879	1874	1930	1940	1948
25	1869	1893	1889	1946	1957	1966
30	1877	1904	1901	1959	1970	1980
40	1890	1919	1918	1977	1989	2002
50	1899	1930	1930	1991	2002	2018
60	1906	1937	1939	2000	2011	2031
80	1916	1948	1953	2015	2024	2048
100	1923	1955	1961	2025	2032	2062
120	1928	1960	1968	2034	2038	2071
150	1935	1965	1975	2042	2044	2081
170	1936	1967	1978	2046	2047	2085
200	1940	1971	1983	2052	2050	2091
210	1941	1972	1982	2053	2051	2093



**Ensayo de rigidez. UNE EN 12697-26, Anexo C.**

Se realizan probetas con el equipo de impacto y una altura de 40 milímetros, aplicando una energía de 25 golpes por cada cara de la probeta. El ensayo se efectúa con el método descrito en el anexo C, ensayo a tracción indirecta sobre probetas cilíndricas (IT-CY) a 3 temperaturas para comprobar la susceptibilidad térmica de los materiales tras la aplicación de cargas repetidas con pulsos dinámicos para obtener la deformación diametral horizontal en la probeta.

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
Referencia	M1 50/70	M2 PMB	M3 TRASUTRA	M1 50/70	M2 PMB	M3 TRASUTRA
% Ligante/ áridos	5,5%					
Rigidez, MPa	8548	9080	6158	5879	6460	4153

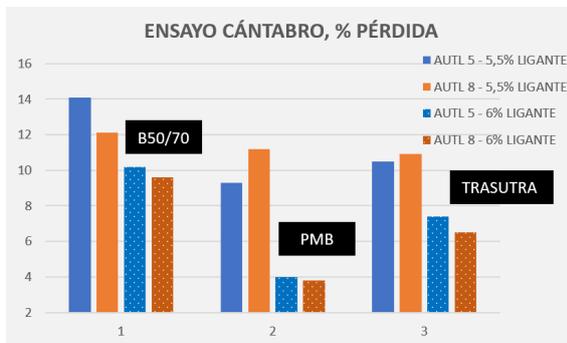


Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
% Ligante en áridos	6 %					
energía	M1	M2	M3	M1	M2	M3
5	1828	1828	1828	1934	1934	1934
10	1875	1906	1884	1990	1996	1995
15	1903	1942	1916	2024	2032	2031
20	1923	1965	1939	2048	2058	2056
25	1938	1981	1955	2067	2077	2075
30	1950	1994	1969	2081	2092	2090
40	1967	2013	1974	2103	2115	2113
50	1980	2027	1977	2119	2133	2130
60	1990	2038	1987	2132	2146	2144
80	2005	2053	2002	2150	2166	2164
100	2015	2064	2012	2163	2180	2178
120	2024	2072	2021	2173	2190	2190
150	2032	2080	2029	2185	2203	2203
170	2037	2085	2034	2191	2208	2210

**Ensayo cántabro de pérdida de partículas. UNE EN 12697-17.**

Las probetas que son empleadas en el ensayo se fabrican con el equipo de impacto y una altura de 40 milímetros, aplicando una energía de 25 golpes por cada cara de la probeta. El ensayo se realiza a una temperatura de 25°C y se determina la pérdida de masa tras el desgaste en la máquina de Los Ángeles con 300 vueltas. A continuación, se muestran los resultados de la mezcla con el 5,5 % de ligante en áridos.

Material	AUTL5,6-TRASUTRA			AUTL8-TRASUTRA		
	M1 50/70	M2 PMB	M3 TRASUTRA	M1 50/70	M2 PMB	M3 TRASUTRA
Referencia						
% Ligante/ áridos	5,5%					
Altura	3,9	4,0	4,1	4,0	4,0	4,2
% Huecos (geom.)	17	20,9	21,0	15,4	16,1	17,0
% Pérdida	14,1	9,3	10,5	12,1	11,2	10,9
% Ligante/ áridos	6%					
Altura	4,2	4,1	4,3	4,0	3,9	3,7
% Huecos (geom.)	17,5	16,0	19,8	13,8	13,4	15,5
% Pérdida	10,2	4,0	7,4	9,6	3,8	6,5



### Ensayo FÉNIX, NLT 383/20.

Se realiza el ensayo Fénix con la rotura a 3 temperaturas diferentes (-5°C, 5°C y 20°C) para comparar los resultados en las 3 mezclas ensayadas tipo AUTL-8 con diferente tipo de ligante: M1 con betún 50/70, M2 con PMB y M3 con B. TRASUTRA, y un contenido de betún del 5,5 % sobre el peso de los áridos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

M1. Ligante	B50/70		
Temperatura de ensayo	20	5	-5
Indicador de Rigidez (IRT) (Mpa/mm)	1,865	1,985	7,125
Energía total de rotura (Gd) (J/m <sup>2</sup> )	463,5	684	445,5
Tenacidad (T) (J/m <sup>2</sup> )	406	555,5	382,5
Indicador de tenacidad (IT) (mN)	714	351,5	87
Resistencia a tracción (RT) (MPa)	0,21	0,565	0,8
Desplazamiento (dmax) (mm)	0,33	0,375	0,135
Desplazamiento de tenacidad (DT) (mm)	1,755	0,635	0,225
RT/DT	<b>0,12</b>	<b>0,89</b>	<b>3,56</b>
RT*DT	<b>0,37</b>	<b>0,36</b>	<b>0,18</b>

M2. Ligante	PMB		
Temperatura de ensayo	20	5	-5
Indicador de Rigidez (IRT) (Mpa/mm)	0,775	3,81	6,875
Energía total de rotura (Gd) (J/m <sup>2</sup> )	353,5	916	564,5
Tenacidad (T) (J/m <sup>2</sup> )	308,5	735,5	478
Indicador de tenacidad (IT) (mN)	1029	364	110
Resistencia a tracción (RT) (MPa)	0,115	0,84	0,935
Desplazamiento (dmax) (mm)	0,445	0,33	0,16
Desplazamiento de tenacidad (DT) (mm)	3,335	0,485	0,23
RT/DT	0,03	1,73	4,07
RT*DT	0,38	0,41	0,22

M3. Ligante	TRASUTRA		
Temperatura de ensayo	20	5	-5
Indicador de Rigidez (IRT) (Mpa/mm)	0,532	3,805	3,745
Energía total de rotura (Gd) (J/m <sup>2</sup> )	287,2	727,5	408,5
Tenacidad (T) (J/m <sup>2</sup> )	243,2	594	307
Indicador de tenacidad (IT) (mN)	708	327	74,75
Resistencia a tracción (RT) (MPa)	0,102	0,6425	0,6975
Desplazamiento (dmax) (mm)	0,5	0,2975	0,2425
Desplazamiento de tenacidad (DT) (mm)	2,867	0,5425	0,2325
RT/DT	0,04	1,18	3,00
RT*DT	0,29	0,35	0,16

Gráfico de los resultados RT-DT:

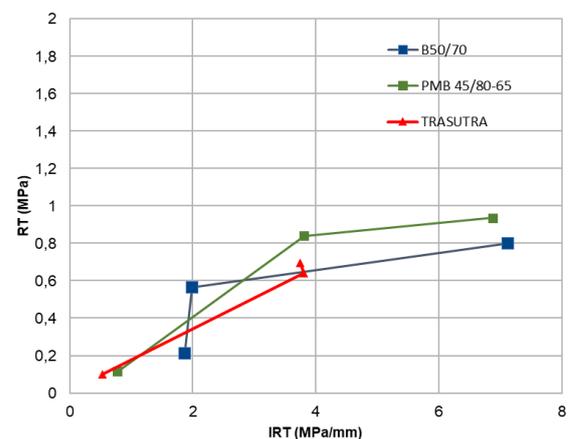
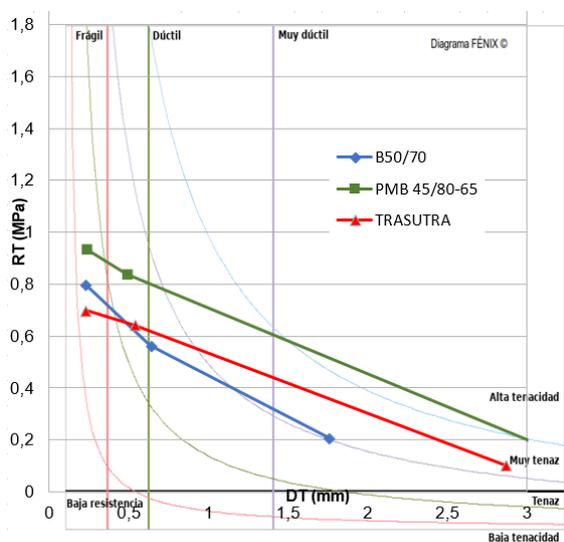


Gráfico de los resultados RT-IRT:



## CONCLUSIONES

Este trabajo se presenta como muestra del trabajo colaborativo entre dos empresas y una universidad, dentro de un clúster formado por la Cátedra PADFECASA-UAX y la empresa KAO, siendo la primera fase del trabajo de investigación para el desarrollo de mezclas bituminosas ultra-delgadas para su fabricación con ligantes convencionales aditivados y baja temperatura. Además, en el momento actual se están realizando numerosos ensayos de estas mezclas en el laboratorio ROADLAB SACYR-UAX, para realizar un proceso de confrontación y validación de resultados.

Se han estudiado en el laboratorio dos mezclas del tipo AUTL, ultra-delgadas según la normativa UNE-EN 13108-9, con materiales de alta calidad, modificando las características del ligante para obtener mejores prestaciones, tanto para la mezcla fabricada como para el proceso de puesta en obra. Una de las mezclas se fabrica con árido tamaño de 5 milímetros y la otra con tamaño

de 8 milímetros, con diferente densidad y contenido de huecos.

A partir de los diseños realizados puede comprobarse la mejora de las características de las mezclas con betún modificado y el ligante TRASUTRA frente a un ligante convencional, pudiendo comprobar en el gráfico del ensayo Fénix la elevada ductilidad de la misma.

En las curvas de compactación con el equipo de la compactadora giratoria permite verificar la posibilidad de incrementar los tiempos de trabajabilidad de la mezcla con ligante TRASUTRA, incluso a menor temperatura de compactación, por encima del ligante convencional y modificado.

Esta tecnología permite fabricar mezclas bituminosas de alta calidad para su colocación en obras con espesores de 1-2 cm finales con garantías de un buen comportamiento en el tiempo. La posibilidad de mejorar el ligante convencional en la planta permite fabricar cantidades más pequeñas sin necesidad de pedir cisternas completas de un ligante modificado.

Este tipo de soluciones facilita la puesta en obra de materiales en entornos urbanos que, por su facilidad de colocación y pronta apertura al tráfico, son pavimentos ideales para las vías urbanas.

Este es la primera fase de un trabajo que está realizando dentro del Clúster para el desarrollo de mezclas bituminosas ultra-delgadas para su fabricación con ligantes convencionales aditivados y baja temperatura. En una siguiente fase se tiene previsto ofrecer a diferentes Ayuntamientos para realizar tramos de obra y profundizar en la obtención de propiedades mejoradas.